

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：11401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K05041

研究課題名（和文）土砂を含む津波氾濫流の抵抗則と波力評価の高度化に関する基礎研究

研究課題名（英文）Basic study on the advancement of the resistance law and wave force evaluation of tsunami inundation flow with sediment

研究代表者

松富 英夫（MATSUTOMI, Hideo）

秋田大学・名誉教授・名誉教授

研究者番号：20134083

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、諸構造物へ作用する津波荷重評価や歴史津波の規模評価の高度化を目指し、水理実験と理論解析に基づいて、津波氾濫流（非定常流）の流勢や遡上高、土砂移動（洗掘・堆積）域、氾濫水密度などと密接に関係する「移動床下の津波氾濫流の実用的な抵抗則」を提案し、その抵抗則に基づいた「氾濫水密度の実用的な評価式」の提案と「抵抗則（氾濫水密度）の遡上高などへの影響」の検討を行った。また、水理実験や数値実験、理論解析に基づいて、「氾濫水密度と津波荷重の関係」や「波周期と津波荷重の関係」の検討を行い、最後に「土砂を含むことによる津波荷重の増減」の判断を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により移動床下の土砂を含む津波氾濫流（非定常流）の実用的な一抵抗則と氾濫水密度評価式が初めて提示された。これらの抵抗則と氾濫水密度評価式を用いた津波氾濫流の水面形を含む遡上理論も提示された。さらに、氾濫水密度や氾濫流の水面形が津波荷重へ影響することを水理実験を通して確認している。これらの研究成果は限られた条件下で得られたもので、今後の研究展開の参考になるとともに一般化が期待され、諸構造物へ作用する津波荷重評価や歴史津波の規模評価の高度化、ひいては津波の防災・減災対策の高度化へ寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：Aiming for the advancement of evaluations of tsunami load on structures, historical or prospective tsunami scale, empirical formulas for evaluating friction factor of inundation flow with sediment and density of inundation water under a movable bed, which are available to a tsunami run-up theory, were proposed and influence of the empirical formulas on the run-up height and so on of inundation flow was examined, based on both hydraulic experiments on the density of inundation water together with run-up of inundation flow and theoretical analyses on the run-up of inundation flow. Based on hydraulic experiments, numerical experiments and theoretical analyses, relationship between the density of inundation water and tsunami load together with that between wave period and tsunami load were examined and it was finally judged whether tsunami load was increased or decreased by including sediment in the inundation flow.

研究分野：水工学

キーワード：津波 氾濫水密度 氾濫流抵抗則 波力

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) これまでの諸構造物への津波荷重評価や歴史津波の規模評価では、底面の土砂は移動しても、津波そのものは土砂を含まないとして議論・解析されてきている。しかし、移動床下を氾濫する実際の津波は基本的に土砂を含み、場合によっては汀線近傍の浅海域から土砂を含み、土砂を含む津波の流勢や遡上高、氾濫域は土砂を含まない場合に比べて弱く、低く、狭くなると考えられる。これらの事象の傾向は、歴史津波の規模評価の観点では氾濫域(土砂堆積・洗掘域)を狭くするため、土砂を含まない津波に基づく解析では発生した津波規模を過小評価する。津波荷重評価の観点では流勢を弱くするが、氾濫水(土砂水)密度 ρ を高く、入射氾濫水深 h_i を大きくし、津波荷重(水平力、鉛直力)が大きくなるかどうかは不明である。

(2) 移動床下の定常流の抵抗則は河川の流砂問題で長年議論されてきているが、まだ多くの課題が残されている。いわんや、流勢や遡上高、土砂堆積・洗掘域、氾濫水密度などと密接に関係する土砂を含む津波氾濫流(非定常流)の抵抗則はほとんど検討されておらず、課題が山積している状況である。

(3) 津波荷重の氾濫水密度への依存性は2018年から水理実験を通して検討され始めた。2019年にはシルトを含む氾濫流を用いた津波荷重実験が行われているが、水理実験データが少なく、その定式化は行われていない。津波荷重は波周期(非定常性の程度とも言える)にも依存するが、その検討も緒についたばかりである。

2. 研究の目的

移動床下の津波氾濫流は土砂を含む。土砂を含む津波氾濫流の抵抗則はほとんど解明されていない。その抵抗則は津波の遡上高や氾濫域ばかりでなく、氾濫水密度 ρ 、ひいては津波荷重(水平力、鉛直力)へ影響する。津波の遡上高や氾濫域は歴史津波の規模評価へ影響する。津波荷重は波周期の影響も受ける。

本研究は、津波荷重評価や歴史津波の規模評価の高度化を目指し、工夫した水理実験や数値実験、理論解析に基づいて、主に以下の項目の検討を行う。

- (1) 流勢、遡上高、土砂堆積・洗掘域、氾濫水密度などと密接に関係する「移動床下の津波氾濫流の実用的な抵抗則」
- (2) その抵抗則に基づいた「氾濫水密度の実用的な評価式」と「抵抗則(氾濫水密度)の遡上高などへの影響」
- (3) 「氾濫水密度と津波荷重の関係」
- (4) 「波周期と津波荷重の関係」
- (5) 「土砂を含むことによる津波荷重の増減」

3. 研究の方法

検討項目(1)と(2)は水理実験と理論解析、(3)と(5)は水理実験、数値実験、理論解析、(4)は水理実験と数値実験に基づいて検討を行う。

(1) 「移動床下の津波氾濫流の実用的な抵抗則」に関しては、水理実験データが少ない状況下で入射フルード数 F_{ri} と相当砂粒粗度 k_s に基づく相対入射氾濫水深 h_i/k_s に依存する場合について暫定的な抵抗則を提示しており、本研究において図1に示す実験装置を用いて広範な水理条件下の多数の水理実験データを取得し、実用的で適用度が高い抵抗則へ高度化する。

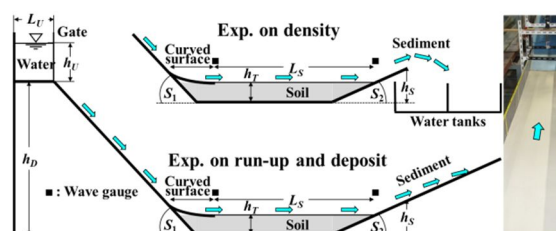


図1 実験水路の概略(側壁は略)、測定器具などの配置と諸記号の定義

(2) 「氾濫水密度 ρ の実用的な評価式」に関しては、(1)の「実用的な抵抗則」の場合と同じで、水理実験データが少なく、適用範囲が限られるが、入射フルード数と相対入射氾濫水深に依存する場合について抵抗則と氾濫水密度の暫定的な関係式を提示しており、本研究において図1に示す実験装置を用いて広範な水理条件下の多数の水理実験データを取得し、その関係式を高度化する。「抵抗則(氾濫水密度)の遡上高などへの影響」に関しては、抵抗則と遡上高などの関係に関する理論解の導出を図2に示す津波遡上モデルに基づいて行い、抵抗則の遡上高などへの影響を明らかにする。

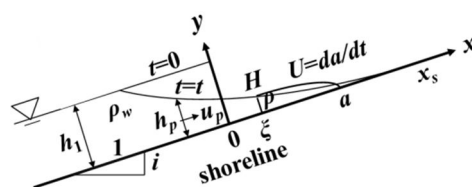


図2 津波氾濫流の初期条件と諸記号の定義

(3) 「氾濫水密度と津波荷重の関係」に関しては、定式化に至っていないが、氾濫水密度が津波荷重へ影響することを水理実験に基づいてすでに実証している。したがって、本研究において図3に示す実験装置を用いて広範な水理条件下の多数の水理実験データを取得し、両者の関係の定式化を目指す。数値実験に基づく氾濫水密度と津波荷重の関係の検証も行う。

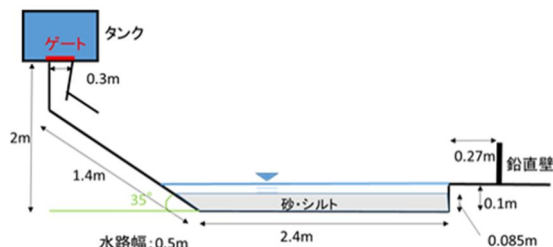


図3 実験装置の概略(側壁は略)と諸元

(4) 「波周期と津波荷重の関係」に関しては、これも定式化に至っていないが、波周期が津波荷重へ影響することを水理実験に基づいてすでに実証している。したがって、本研究において図3に示す実験装置を用いて広範な水理条件下の多数の水理実験データを取得し、両者の関係の定式化を目指す。数値実験に基づく波周期と津波荷重の関係の検証も行う。

(5) 「土砂を含むことによる津波荷重の増減」に関しては、上記(1)～(4)の諸目的の達成を経て総合的に判断する。

4. 研究成果

(1) 「移動床下の津波氾濫流の実用的な抵抗則」に関しては、移動床の底質として砂やシルトを用い、入射フルード数 F_{ri} が2弱～6強の下で貯水深 h_U (図1)などを変化させながら水理実験を実施し、入射氾濫水深 h_i や入射フルード数、氾濫水密度 ρ 、遡上高(域)の実験データを取得して、入射フルード数と相対入射氾濫水深(入射氾濫水深/底質の中央粒径 d_{50})の両方に依存する理論にも適用可能な形の実用的な氾濫流抵抗則(摩擦損失係数 K の評価実験式)を提示した(図4)。ただし、シルトに対してはデータ数が少ないため、実用的な氾濫流抵抗則を提示するに至らず、考え方を示すに止まった。

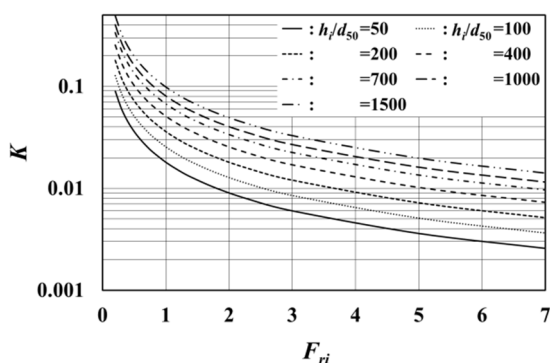


図4 摩擦損失係数 K の評価実験式の計算図

(2) 「氾濫水密度の実用的な評価式」に関しては、上記の抵抗則(シルトに対しては暫定的な考え方)を用いて入射フルード数と相対入射氾濫水深の両方に依存する理論にも適用可能な形の実用的な氾濫水密度評価実験式を提示した。「抵抗則(氾濫水密度)の遡上高などへの影響」に関しては、初期の汀線における入射段波高 h_1 と遡上斜面勾配 i 、底質の中央粒径(シルトに対しては粒子凝集体の径)に依存し(図2)、摩擦損失係数と氾濫水密度が時間変化するより普遍性が高い津波遡上の理論解を導出した。その理論解の妥当性も検証した。

(3) 「氾濫水密度と津波荷重の関係」に関しては、砂やシルトを含む氾濫流の津波荷重(波圧)実験を実施し、氾濫水密度と氾濫流先端の水面勾配、津波荷重の3者を比較しながら波圧係数(被衝突構造物前面浸水深/入射氾濫水深)による検討を行い、入射フルード数が同じでも砂やシルトを含むことで相対的に波圧が増大する可能性があることを確認した。氾濫水密度を考慮した氾濫流先端部の水面形と土砂移動評価の一理論解も導出した。さらに、氾濫水密度と津波荷重の関係を検証する数値実験法の開発を行った。

(4) 「波周期と津波荷重の関係」に関しては、津波荷重実験で取得した津波荷重と実験条件(氾濫流を発生させるときの貯水深と波周期)の関係を検討するとともに、両者の関係を検証する数値実験法の開発を行った。

(5) 「土砂を含むことによる津波荷重の増減」に関しては、砂やシルトを含むことで相対的に波圧が増大する可能性があることを実験的に確認した。また、氾濫水密度が高くなれば、氾濫流先端部の水面勾配が増加することを理論的に示し、間接的であるが津波荷重が増大することを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 松富英夫, 有川太郎	4. 巻 78
2. 論文標題 氾濫水密度の時間変化を考慮した津波遡上	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 247-252
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 木瀬晃周, 有川太郎	4. 巻 76
2. 論文標題 土砂・シルトを含んだ津波の波力に関する実験的研究	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 385-390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 松富英夫, 有川太郎	4. 巻 76
2. 論文標題 津波遡上への氾濫水密度の影響	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2 (海岸工学)	6. 最初と最後の頁 391-396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Matsutomi Hideo
2. 発表標題 Tsunami run-up considering time variation of density of inundation water
3. 学会等名 International Conference on Coastal Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Arikawa, Taro
2. 発表標題 Experimental investigation of density effect on tsunami bore forces
3. 学会等名 International Conference on Coastal Engineering (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松富英夫
2. 発表標題 氾濫水密度の時間変化を考慮した津波遡上
3. 学会等名 東北地域災害科学研究
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松富英夫
2. 発表標題 氾濫流抵抗則の津波遡上への適用法
3. 学会等名 東北地域災害科学研究
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松富英夫
2. 発表標題 氾濫流抵抗則実験式の照査
3. 学会等名 土木学会東北支部技術研究発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Matsutomi, Hideo
2. 発表標題 EFFECT OF THE DENSITY OF INUNDATION WATER ON TSUNAMI RUN-UP
3. 学会等名 International Conference on Coastal Engineering (国際学会)
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	有川 太郎 (ARIKAWA Taro) (00344317)	中央大学・理工学部・教授 (32641)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------